

KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH *ANGLE MIXING CHAMBER* TERHADAP UNJUK KERJA *STEAM EJECTOR REFRIGERATION*

Bachtiar Setya Nugraha

Dosen Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muria Kudus
E-mail: muria@umk.ac.id

Abstrak

Sistem *steam ejector refrigeration* merupakan siklus refrigerasi dengan memanfaatkan energi yang terbuang. Siklus *steam ejector refrigeration* menggunakan fluida air sebagai refrigeran sehingga lebih ramah lingkungan, selain itu sistem *steam ejector* dinilai lebih efektif di banding sistem-sistem yang lain karena tidak banyak memerlukan sumber energi yang besar. Sistem *steam ejector refrigeration* memiliki beberapa bagian utama, antara lain : *boiler*, *ejector*, *condensor*, dan *evaporator*. Sedangkan bagian-bagian *ejector* terdiri dari *primary nozzle*, *mixing chamber*, *throat*, dan *subsonic diffuser*. *Ejector* adalah bagian yang paling berpengaruh terhadap performansi siklus ini, kinerja *ejector* dapat dilihat dari besarnya nilai *entrainment ratio* yaitu perbandingan laju aliran massa dari *boiler* dengan laju aliran massa dari *evaporator*. Peningkatan nilai *entrainment ratio* dapat meningkatkan nilai COP sistem refrigerasi, oleh karena itu dilakukan penelitian desain dan variasi dari bagian *ejector* untuk mengetahui bentuk geometri maximum yang berpengaruh terhadap *entrainment ratio* serta COP dari siklus tersebut. Penelitian dilakukan dengan memodifikasi sudut *mixing chamber* sebesar 3,5°, 5°, 7°, 13° dan memvariasikan kondisi operasi tekanan dari *boiler* yaitu pada tekanan tekanan boiler 5 kg/cm², 4 kg/cm² dan 3 kg/cm². Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sudut 7° menghasilkan nilai *entrainment ratio* sebesar 0,71 pada tekanan boiler 5 kg/cm².

Kunci kata : *COP*, *entrainment ratio*, *steam ejector refrigeration*, sudut *mixing chamber*

Abstract

Steam ejector refrigerator is refrigeration system uses dumped energy to generate useful refrigeration. Cycle steam is refrigeration's ejector utilizing water fluid as refrigerant so more environmentally friendly. Use steam ejector evaluated effective at other systems equal because not many need for example big energy. Steam jet ejector refrigeration system have part consist of : boiler, ejector, condensor and evaporator. Meanwhile, part steam ejector consist of : primary nozzle, mixing chamber, throat and subsonic diffuser. Ejector is the most important part to the performance of this cycle, the ejector performance can be seen from the large value of the entrainment ratio. Entrainment ratio is the ratio between the mass flow rate from the boiler with the mass flow rate from the evaporator. Increasing the value of entrainment ratio can increasing the value of COP from a refrigeration system. therefore done by design and variation research of part ejector. In this research, experiment was done by modification the corner of mixing chamber for 3,5°, 5°, 7°, 13°. ejector and also by varying the operation pressure of the boiler at pressure 5 kg/cm², 4 kg/cm² dan 3 kg/cm². The results of the experiment show that the entrainment ratio optimum 0,71 in angle for 7° at boiler pressure 5 kg/cm².

Keywords : angle mixing chamber, COP, entrainment ratio, steam ejector refrigeratio

1. PENDAHULUAN

Ejector refrigeration adalah salah satu sistem refrigerasi yang banyak dikembangkan akhir-akhir ini. Sistem ini merupakan salah satu aplikasi dari pemanfaatan energi yang ramah lingkungan. Karena *ejector refrigeration* dapat memanfaatkan panas buang dari *power plants*, ruang pembakaran dan pada proses-proses industri lainnya dan digunakan untuk menghasilkan proses refrigerasi atau pendinginan. Selain itu siklus *steam ejector refrigeration* memiliki konstruksi yang sederhana serta sedikit bagian bergerak sehingga secara ekonomis lebih rendah biaya perawatan dan operasionalnya dibanding siklus kompresi uap [2]. Selain itu pada sistem ini juga dapat digunakan air sebagai fluida refrigerant sehingga sangat ramah lingkungan [1].

Meskipun mempunyai banyak kelebihan tetapi siklus *ejector refrigeration* ini mempunyai kelemahan yaitu memiliki koefisien kinerja (COP) dan kapasitas pendinginan yang rendah. Sehingga diperlukan studi lebih lanjut guna mengetahui karakteristik dan fenomena yang terjadi dari siklus *ejector refrigeration* ini. Performansi

refrigerasi dari siklus ini tergantung pada kemampuan *ejector* meningkatkan *flow rate* refrigerasi yang melalui *evaporator* atau parameter ini biasa disebut *entrainment ratio*. Sehingga nantinya dapat digunakan sebagai dasar untuk menaikkan koefisien kinerja (COP) dan kapasitas pendinginan dari siklus ini.

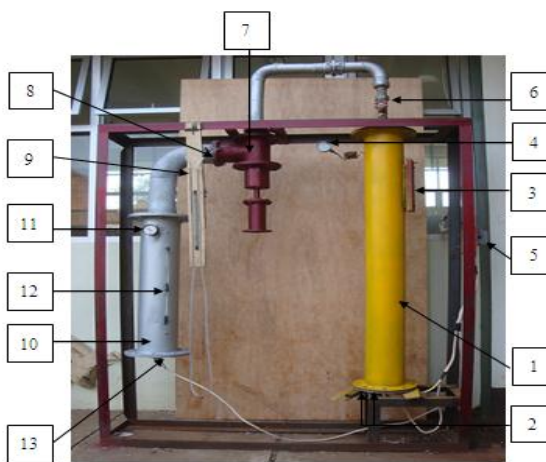
Bentuk geometri dan kondisi operasi *ejector refrigeration* berpengaruh terhadap performansi yang dihasilkan. Dengan memodifikasi sudut *mixing chamber* dengan berbagai variasi, sehingga akan diperoleh sudut *mixing chamber* maksimum yang dapat meningkatkan nilai *entrainment ratio* kemudian berpengaruh pada meningkatnya COP dari siklus *ejector refrigeration*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Deskripsi Mesin Uji

Dalam penelitian ini menggunakan mesin uji *steam ejector refrigeration* siklus terbuka. Seperti yang pernah digunakan oleh Meyer [2], tetapi dengan sedikit penambahan dan pengurangan bagian. Pada mesin uji ini digunakan *orifice plate flowmeter* untuk mengukur laju aliran massa dari *primary* maupun *secondary flow*, serta mesin uji ini tidak menggunakan tabung kondenser karena pada penelitian ini hanya akan mengukur *entrainment ratio* yang dihasilkan. Sehingga uap yang keluar dari *ejector* langsung ke atmosfer.

Mesin uji ini memiliki beberapa komponen utama yaitu *boiler*, *ejector* dan *evaporator*. Digunakan pula beberapa alat ukur yang diperlukan serta refrigerant berupa air. Gambar keseluruhan dari mesin uji tampak pada Gambar 1.



Gambar 3.6 Mesin uji *steam ejector refrigeration*.

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 1. Boiler | 8. Orifice Plate Flowmeter |
| 2. Water heater 6000 Watt | 9. Manometer |
| 3. Gelas ukur boiler | 10. Evaporator |
| 4. Pressure Gauge | 11. Vacuum Gauge |
| 5. Saklar water heater | 12. Gelas ukur evaporator |
| 6. Gate valve | 13. Water heater 3000 Watt |
| 7. Ejector | |

Gambar 1. Gambar mesin uji

b. Deskripsi Pengujian

Dalam penelitian ini ada dua proses pengujian, proses pengujian yang I digunakan untuk validasi alat ukur, dan proses pengujian yang II yang nantinya akan diteliti pengaruh sudut *mixing chamber* terhadap *entrainment ratio* yang dihasilkan.

Proses Pengujian I

Pengujian ini berfungsi sebagai validasi alat ukur. Alat ukur yang akan divalidasi adalah *orifice flow meter* yang digunakan untuk mengukur laju aliran massa dari uap, kemudian hasil yang diperoleh dibandingkan dengan hasil perhitungan teori. Karena keterbatasan teori yang ada, maka yang akan divalidasi adalah laju aliran massa dari *primary flow*. Gambar 2 merupakan alat pengukuran *primery flow*

Kemudian teori yang digunakan untuk validasi adalah teori analisis yang dikembangkan oleh B.J. Huang [4], dan pengujianya meliputi variasi kondisi operasi *boiler steam ejector refrigeration* yaitu pada tekanan 3, 4, 5 kg/cm^2 terhadap *primary flow* yang keluar dari *nozzle*.



Gambar 2. Alat pengukuran *primary flow*

Proses Pengujian II

Pada pengujian ini akan diteliti pengaruh sudut *mixing chamber* terhadap *entrainment ratio* yang dihasilkan. Pada pengujian ini kondisi operasi *boiler* juga divariasikan pada tekanan 3, 4, 5 kg/cm^2 kemudian pada setiap tekanan kita lakukan pengujian dengan variasi sudut *mixing chamber* kemudian kita amati *entrainment ratio* yang dihasilkan oleh *steam ejector refrigeration*. Gambar 3 merupakan alat pengukuran *secondary flow*. Pada pengujian ini juga dilakukan pengambilan data untuk distribusi tekanan sepanjang *ejector*.



Gambar 3. Alat pengukuran *secondary flow* dan distribusi tekanan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Entrainment Ratio Pada Setiap Nozzle Exit Position.

Setelah didapatkan *primary* dan *secondary flow* maka selanjutnya dapat dihitung *entrainment ratio*, *compression ratio* dan *expansion ratio* dari siklus *steam ejector refrigeration* tersebut menggunakan Persamaan 1, 5 dan 6. Dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

3.2 Tekanan Dan Kecepatan Sepanjang Ejector Pada Setiap Nozzle Exit Position

Setelah didapatkan *entrainment ratio* dari system kemudian dapat dihitung tekanan dan kecepatan sepanjang *ejector* pada tiap – tiap tekanan operasi *boiler* untuk setiap *nozzle exit position*. Dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 1. *Entrainment Ratio, Compression Ratio, dan Expansion Ratio*

Variasi sudut <i>mixing chamber</i>	$P_b (abs)$ (Pa)	$P_e (abs)$ (Pa)	$P_c (abs)$ (Pa)	$\dot{m}_p exp$ (Kg/s)	$\dot{m}_s exp$ (kg/s)	CR	EXR	ER (w)
3,5°	591657	92182,51	101325	0,00662	0,003346	1,099178	6,418322	0,50545
	493591	94961,06	101325	0,005723	0,00284	1,067016	5,197825	0,49623
	395524	97380,03	101325	0,004849	0,002201	1,040511	4,061654	0,45391
5°	591657	90057,74	101325	0,00662	0,003553	1,125112	6,569752	0,53671
	493591	94634,17	101325	0,005723	0,003072	1,070702	5,21578	0,53681
	395524	97429,07	101325	0,004849	0,002517	1,039987	4,05961	0,51904
7°	591657	90711,51	101325	0,00662	0,004672	1,117003	6,522403	0,70580
	493591	95042,78	101325	0,005723	0,00368	1,066099	5,193356	0,64303
	395524	97085,84	101325	0,004849	0,002226	1,043664	4,073962	0,45897
13°	591657	90711,51	101325	0,00662	0,004392	1,117003	6,522403	0,66817
	493591	94879,34	101325	0,005723	0,003571	1,067935	5,202302	0,62401
	395524	97085,84	101325	0,004849	0,002201	1,043664	4,073962	0,45398

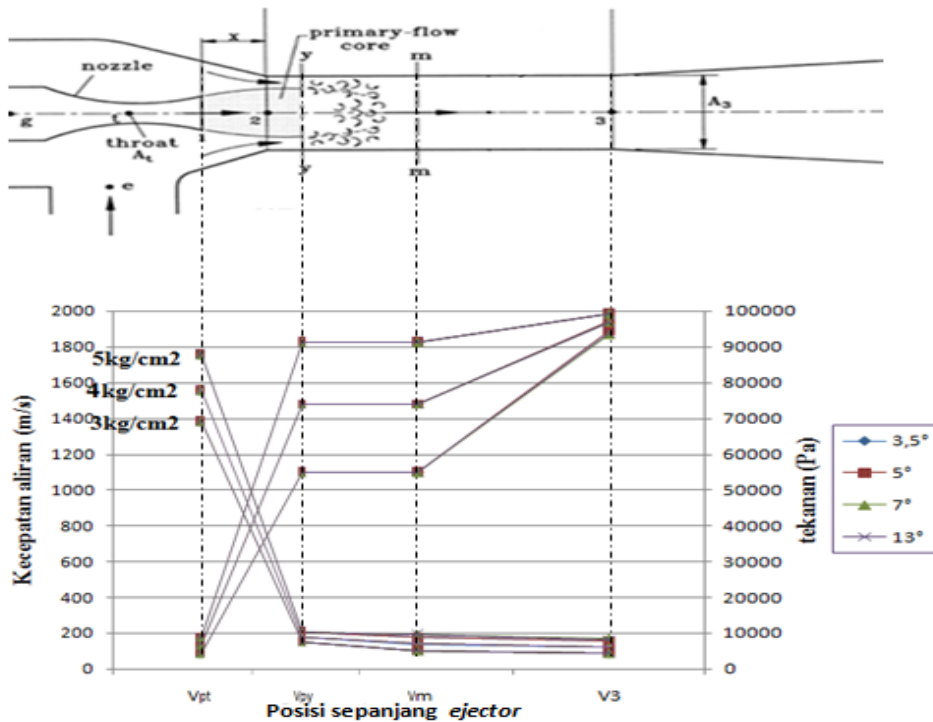
3.3 Grafik Distribusi Tekanan Sepanjang Ejector.

Gambar 4 adalah grafik distribusi dari kecepatan dan tekanan sepanjang *ejector*, dari grafik ini dapat dilihat tekanan rendah yang dihasilkan pada posisi keluar *nozzle* P_{p1} akan semakin tinggi pada posisi *y*, *m* dan *3*. Hal ini menunjukkan bahwa aliran yang keluar dari *nozzle* bertemu aliran dengan tekanan yang lebih tinggi dari *evaporator* sehingga tekanan pada posisi *y* menjadi semakin tinggi dan mengalami pencampuran pada tekanan konstan sampai posisi *m* dan akhirnya tekanan akan mulai terpengaruh dengan tekanan *condenser* sehingga menjadi semakin tinggi pada posisi *3*. Dari Gambar 5.1 juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi tekanan dari *boiler* akan menghasilkan tekanan keluar *nozzle* P_{p1} yang semakin rendah.

3.4 Grafik Distribusi Kecepatan Sepanjang Ejector.

Gambar 4. adalah grafik yang menunjukkan perubahan kecepatan pada posisi *1*, *y*, *m* dan *3* didalam *ejector* berdasarkan hasil perhitungan yang telah diperoleh.

Dari Gambar 4 dapat dilihat kecepatan tinggi yang keluar dari *nozzle* berangsur – angsur turun pada posisi *y*, *m* dan *3*. Hal ini menunjukkan bahwa momentum aliran semakin turun menuju *ejector exit*, dan juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi tekanan dari *boiler* akan semakin tinggi pula kecepatan aliran yang dihasilkan, selain itu dapat dilihat juga bahwa kecepatan campuran aliran *V_m* tertinggi pada posisi *NXP* = 100 mm

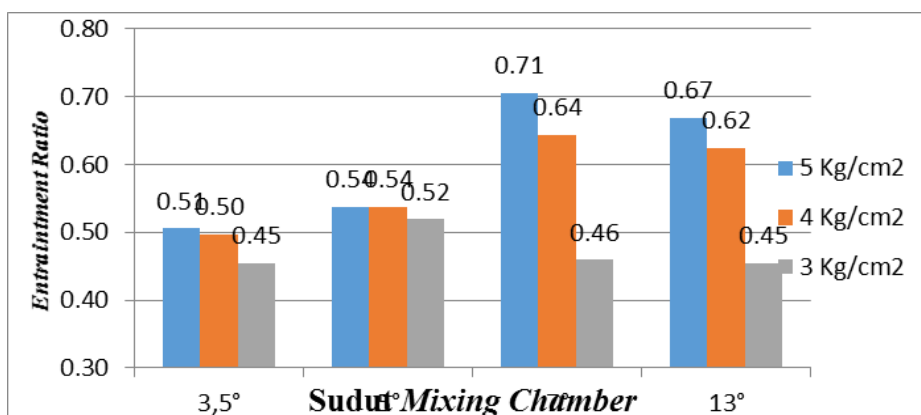


Gambar 4. Grafik distribusi kecepatan dan tekanan sepanjang *ejector*

3.5 Grafik Pengaruh Nozzle Exit Position terhadap Entrainment Ratio

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin tinggi tekanan *boiler* menghasilkan *entrainment ratio* semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan dengan tekanan *boiler* yang tinggi akan menghasilkan kecepatan keluar nosel dengan kecepatan aliran yang lebih tinggi pula. Sehingga kecepatan aliran akan tetap tinggi meskipun sudah bertemu dengan *secondary flow* sampai posisi *y* dan bercampur dengan *secondary flow* sampai posisi *m*, seperti terlihat pada grafik distribusi kecepatan.

Sedangkan efek dari sudut *mixing chamber*, dapat dilihat dari grafik bahwa *entrainment ratio* cenderung tinggi pada sudut 5° dan paling tinggi pada sudut 7°. Gambar 5 menunjukkan bahwa sudut *mixing chamber* optimal adalah 7° yang menghasilkan nilai *entrainment ratio* 0,71 pada kondisi operasi tekanan *boiler* 5 kg/cm²

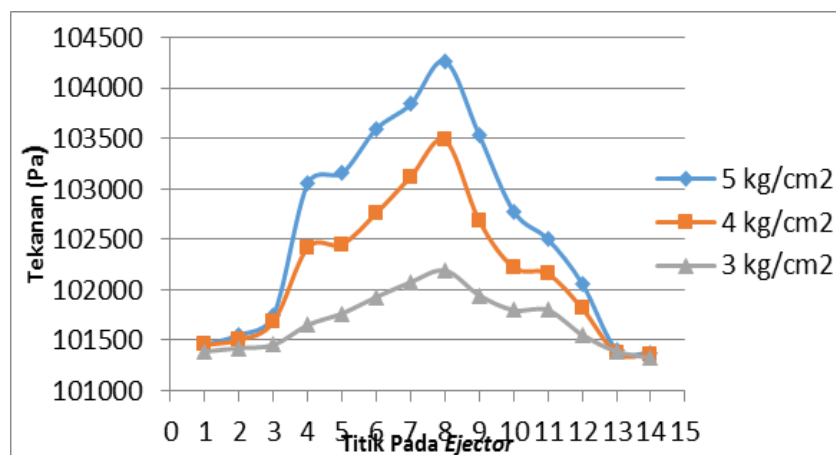


Gambar 5. Perbandingan *entrainment ratio*.

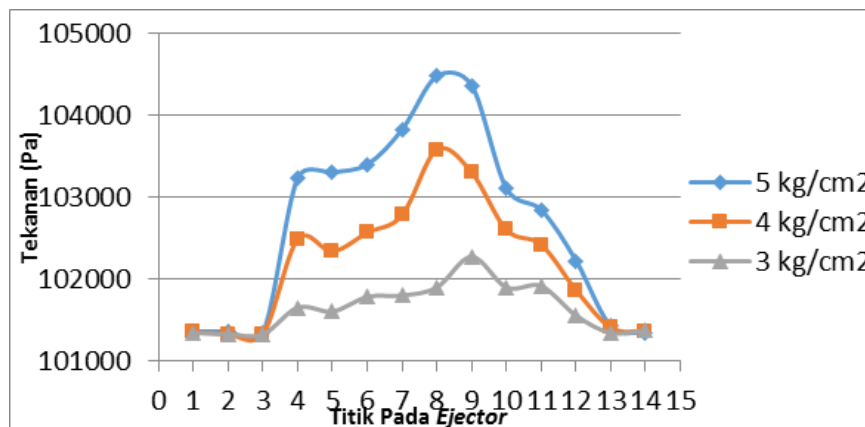
3.6 Distribusi Tekanan Sepanjang Ejector

Pada gambar 6 sampai gambar 9 menunjukkan distribusi tekanan pada masing-masing sudut *mixing chamber*. Pada keempat sudut memiliki karakteristik tekanan yang hampir mirip, yang berbeda adalah besarnya tekanan yang terjadi pada masing-masing titik. Pada titik 1 dan 2 tekanan hampir berimbang karena pengaruh tekanan pada bagian tersebut sangat kecil. Menuju titik 3 tekanan sudah mengalami perubahan yang cukup signifikan menuju titik 4, hingga didapat tekanan maksimal pada titik 9 yang berada pada *throat*. Pada titik ini memiliki nilai tekanan maksimum sebesar 104922 Pa yang terjadi pada tekanan boiler 5 kg/cm² dan sudut *mixing chamber* 7°. Ini terjadi karena pada titik tersebut merupakan titik vakum terendah sehingga tekanan hisapnya semakin besar.

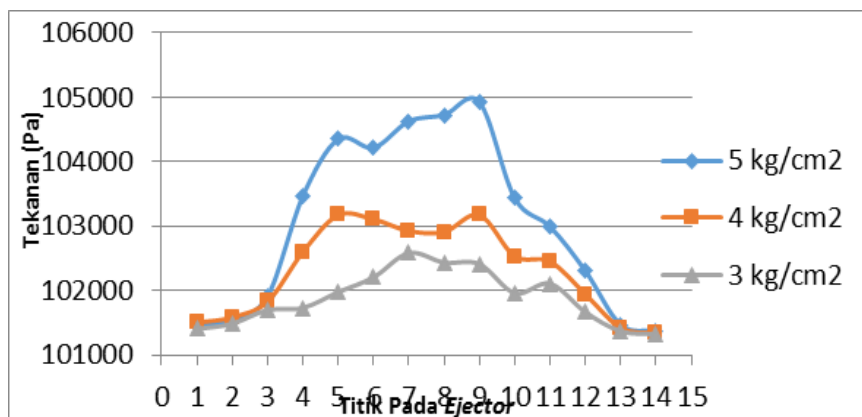
Pada *trackline* berikutnya grafik menunjukkan terjadinya penurunan hingga nilai yang terjadi hampir sama dengan tekanan atmosfer yang terjadi mulai titik 13 hingga titik 14 yang berada pada sisi *diffuser*.



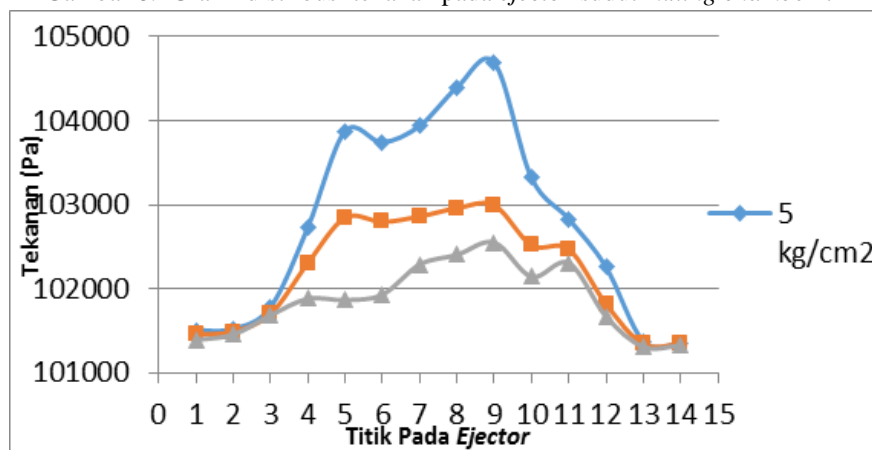
Gambar 6. Grafik distribusi tekanan pada ejector sudut *mixing chamber* 3,5°



Gambar 7. Grafik distribusi tekanan pada ejector sudut *mixing chamber* 5°



Gambar 8. Grafik distribusi tekanan pada ejector sudut *mixing chamber* 7°



Gambar 9. Grafik distribusi tekanan pada ejector sudut *mixing chamber* 13°

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Sudut *mixing chamber* mempengaruhi nilai entrainment ratio dari sistem refrigerasi yang terjadi karena pengaruh luasan constant area *nozzle*.
2. Nilai *entrainment ratio* (ω) paling tinggi terjadi pada sudut *mixing chamber* 7° menghasilkan *entrainment ratio* (ω) = 0,71 pada tekanan boiler 5 kg/cm².
3. Semakin tinggi tekanan boiler, semakin tinggi kecepatan yang terjadi di sepanjang *ejector* maka semakin besar daerah vakum yang dihasilkan. Hal ini yang menyebabkan laju aliran massa *secondary flow* yang terhisap semakin banyak sehingga semakin besar nilai *entrainment ratio* yang dihasilkan.
4. *Orifice plate flowmeter* dapat digunakan untuk mengukur laju aliran massa sistem dengan error 0,12% - 19,6% terhadap laju aliran massa teoritis.
5. Distribusi tekanan terjadi sepanjang *ejector* dan pada pengujian didapat nilai maximum pada titik 9 pada *throat* sebesar 104922 Pa

4.2 Saran

1. Untuk penelitian lebih lanjut diperlukan pula variasi pengaruh tekanan *condenser* sehingga dapat diketahui tekanan *condenser* kritis dan tekanan *condenser* optimum terhadap performansi sistem.
2. Perlu ditambahkan pemanas yang lebih besar pada boiler agar untuk pengukuran pada tekanan 5 kg/cm² bisa didapatkan hasil yang lebih valid.
3. Untuk meningkatkan keamanan sebaiknya ditambahkan juga *pressure relief valve* pada boiler guna menghindari tekanan boiler yang terlampaui tinggi.

4. Pada pengukuran distribusi tekanan diperlukan orang banyak agar pengambilan datanya lebih akurat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chunnanond K. Aphornratana S, (2003), "*Ejectors: applications in refrigeration technology*", Thammasat University.
- [2] Meyer J, (2006), "*Steam jet ejector cooling powered by low grade waste or solar heat*", Stellenbosch University, Belanda.
- [3] Changel, (2005), "*Thermodynamics an engineering approach*", 5th led, McGraw-Hill.
- [4] Huang B.J, Chang J.M, C.P. Wang and V.A, Petrenko, A (1999), "*1-D analysis of ejector performance*", *Int. J. Refrigeration*, 22, 354-364.
- [5] Pridasawas W, (2003), "*Solar-driven ejector refrigeration system case*", *study in thailand*, Bangkok.
- [6] White, Frank M, (1988), "*Mekanika fluida*" edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- [7] Nguyen. V.M, (2000), "*Development of a solar-powered passive ejector cooling system*", Nottingham NG7 2RDUK.